

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики

**АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Гидрогазодинамика»

Направление подготовки
24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

Направленность подготовки (профиль)
Авиационная и ракетно-космическая теплотехника

Квалификация выпускника
Бакалавр

Программа подготовки
Прикладной бакалавриат

Форма обучения
Очная

УФА 2016

Исполнитель: доцент



Клеванский В.М.

Заведующий кафедрой:



Бакиров Ф. Г.

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Гидрогазодинамика» является *базовой дисциплиной учебного плана Б1.Б.13*, направления подготовки бакалавров *24.03.05 – Двигатели летательных аппаратов*, направленность подготовки (профиль) – *Авиационная и ракетно-космическая теплотехника*, программы подготовки – *прикладной бакалавриат*.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки бакалавров *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «09» февраля 2016г., № 93.

Цели освоения дисциплины:

- формирование у студентов способности и готовности выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, творчески применять основные законы естественнонаучных дисциплин, для разрешения этих проблем, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Задачи дисциплины подразделяются на:

- учебные;
- воспитательные;
- развивающие.

Учебными задачами дисциплины являются:

- формирование у студентов системы знаний по основам гидрогазодинамики;
- формирование способностей выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- формирование у студентов знаний и умений по формулированию и постановке задач дисциплины, выбору и использованию соответствующих законов и формул для решения стандартных задач профессиональной деятельности;
- формирование у студентов навыков проведения расчетов, анализа и интерпретации результатов расчета, навыков проведения экспериментов по заданной методике и анализу результатов с привлечением соответствующего математического аппарата.

Воспитательными задачами дисциплины являются:

- формирование у студентов убежденности в необходимости непрерывного обучения при работе по специальности, уверенности в своих силах и возможностях.

Развивающей задачей дисциплины является развитие у студента

системного логического мышления.

Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций:

ПКП-2 – способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1.	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ПКП-2	- основные физические свойства жидкостей и газов; общие законы и уравнения гидрогазодинамики; широко распространенные модели жидкой среды; режимы течения вязкой жидкости; уравнения одномерных потоков жидкостей и газов; общие сведения о свободных струях, основы теории подобия и анализа размерностей, основы теории пограничного слоя.	- выбирать и использовать основные законы, модели и расчётные формулы гидрогазодинамики при решении стандартных задач профессиональной деятельности; осуществлять математическую постановку задач и их решение, проводить соответствующие расчёты, анализировать и интерпретировать полученные результаты; моделировать гидрогазодинамические процессы и явления; про-	-методами теоретического исследования в гидрогазодинамике с использованием основных понятий механики жидкости и газа, моделей и формул; методами экспериментального исследования и моделирования гидрогазодинамических процессов и явлений; методами проведения измерений гидрогазодинамических параметров в потоках жидкостей и газов и приобрести соответствующий опыт в ходе проведения ла-

				<p>водить расчеты одномерных течений жидкостей и газов в трубах и каналах с учетом гидравлических и различных физических воздействий; использовать справочный материал по физическим свойствам жидких и газообразных сред.</p>	<p>бораторных работ; методами проведения расчетов одномерных течений жидкостей и газов в трубах и каналах с учетом гидравлических сопротивлений и различных физических воздействий; навыками поиска справочных материалов по физическим свойствам жидких и газообразных сред, в том числе с использованием интернет-ресурсов.</p>
--	--	--	--	--	---

Содержание дисциплины

№	Наименование и содержание разделов
1.	<p>Жидкости и газы как сплошные деформируемые среды и объекты изучения в гидрогазодинамике.</p> <p>Определение целей и задач дисциплины, объекта и базы для её изучения. Общая постановка задач гидрогазодинамики (ГГД). Методы решения задач ГГД. Отличительные свойства жидкостей и газов. Гипотеза сплошности жидкости. Основные понятия жидкого континуума. Силы, действующие в жидкости. Напряжения.</p>
2.	<p>Основы кинематики жидкости.</p> <p>Методы изучения движения жидкости. Трубка тока. Живое сечение. Расход жидкости. Расхождение вектора скорости и его гидродинамический смысл. Закон сохранения массы и уравнение неразрывности. Скорость движения жидкой частицы. Первая теорема Гельмгольца (Коши Гельмгольца).</p> <p>Краткие сведения о вихревых движениях. Циркуляция скорости и теорема Стокса. Теореме Томсона (Кельвина). Безвихревое течение жидкости.</p>
3.	<p>Основные уравнения гидрогазодинамики.</p>

	<p>Свойства напряжений поверхностных сил. Давление и его свойства. Уравнение движения жидкости в напряжениях. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформаций. Уравнения движения Навье-Стокса для вязкой сжимаемой жидкости. Уравнения движения идеальной жидкости. Интегралы уравнений движения идеальной жидкости. Интегральная форма закона сохранения количества движения (импульса). Определение сил, действующих на тело, по состоянию потока на границах. Интегральная форма закона сохранения момента количества движения (момента импульса). Закон сохранения энергии. Уравнение энергии для жидкой среды.</p>
4.	<p>Режимы течения вязкой жидкости. Ламинарное и турбулентное течения вязкой жидкости. Особенности турбулентного режима движения жидкости. Дифференциальные уравнения Рейнольдса для турбулентных течений. Модели турбулентной вязкости или некоторые гипотезы о турбулентных напряжениях.</p>
5.	<p>Одномерные течения. Установившиеся течения несжимаемой жидкости в трубах. Основные понятия. Уравнение неразрывности (расхода). Уравнение количества движения. Постоянство полного импульса для цилиндрической струйки идеальной жидкости. Уравнение Бернулли как механическая форма уравнения энергии. Геометрическое толкование уравнения Бернулли. Гидростатический напор и гидростатический закон распределения давления в поперечном сечении одномерного потока. Связь между единицами напора и давления. Полное давление (полный напор). Обобщенное уравнение Бернулли и его частные случаи. Коэффициент Кориолиса для учёта неравномерности поля скоростей. Способ экспериментального определения гидравлических потерь. Рекомендации по применению уравнения Бернулли для решения задач. Гидравлические потери и принципы их расчета. Формула Дарси-Вейсбаха для определения потерь на трение. Местные потери и коэффициенты местного сопротивления. Лaminaрное течение вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе. Формулы для расчета коэффициента сопротивления трения для ламинарного режима течения. Турбулентное течение вязкой несжимаемой жидкости в трубе. Профили скоростей при турбулентном движении. Формулы для расчета коэффициента сопротивления трения для турбулентного режима течения. Понятие о гидравлически гладких и шероховатых трубах. Закон сопротивления гладких труб. Понятие о численных методах решения задач гидрогазодинамики для вязких течений (задача Дирихле). Опытные данные Никурадзе о коэффициенте гидравлического сопротивления трения в трубах с равномерно зернистой шероховатостью. Расчет сопротивления для труб с технической шероховатостью: эквивалентная шероховатость, принцип расчета эквивалентной шероховатости. Формула А.Д. Альтшуля для турбулентных режимов течения. Особенности расчета гидравлических потерь в трубах с некруглым поперечным сечением. Учет влияния сжимаемости на коэффициент трения при больших скоростях течения газа. Местные гидравлические сопротивления: потери при внезапном расширении и при внезапном сужении трубы; потери в коленах и отводах; потери при слиянии и разделении потоков (потери в тройниках). Истечение жидкости через отверстия и насадки. Дроссельные расхо-</p>

	<p>домеры: трубка Вентури, мерные сопла и диафрагмы. Кавитация. Гидравлический расчет трубопроводов. Простой трубопровод постоянного сечения. Порядок расчета простого трубопровода постоянного сечения. Соединение простых трубопроводов: последовательное, параллельное; разветвленный трубопровод.</p> <p>Трубопровод с насосной подачей жидкости (насосная установка). Замкнутый (кольцевой) трубопровод с насосной подачей.</p>
6.	<p>Одномерный поток газа.</p> <p>Скорость звука. Уравнение энергии в форме энтальпии. Преобразование полной энтальпии в кинетическую энергию потока. Газодинамические функции: газодинамические функции параметров торможения; газодинамические функции, характеризующие поток массы; газодинамическая форма уравнения расхода; газодинамические функции, характеризующие полный импульс потока; газодинамическая форма для полного импульса; формулы для определения сил, действующих на твердое тело; газодинамическая форма формул тяги; течение газа по каналу с внезапным расширением. Уравнение обращения воздействий. Геометрическое воздействие на газовый поток (уравнение Гюгонио): конфузорный и диффузорный каналы; сужающе-расширяющийся канал: изменение знака геометрического воздействия при переходе течения через скорость звука (обращение геометрического воздействия); идеальное сопло Лаваля; критическое течение в горле идеального сопла Лаваля; максимальная скорость истечения из идеального сужающегося сопла (конфузора); понятие о сверхзвуковом диффузоре; истечение газа из сосуда неограниченной емкости через сужающееся сопло; критерии, определяющие режим истечения газа в среду с заданным противодавлением; особенности истечения при изменении располагаемого отношения давлений путем изменения давления в сосуде или противодействия окружающей среды. Методика расчёта идеального сужающегося сопла. Режимы течения газа в идеальном канале с горлом. Расчёт идеального сопла Лаваля на расчётном режиме работы. Тепловое воздействие: движение подогреваемого газа по каналу постоянного сечения; тепловое сопло; тепловой кризис; тепловое сопротивление; невозможность перевода потока из дозвуковой области течения в сверхзвуковую подводом теплоты; особенности расчета течения при дозвуковой скорости течения на входе в канал: при заданном располагаемом перепаде давлений по входу и изменении степени подогрева. Комбинированные сопла. Полутепловое сопло. Воздействие трением: адиабатическое течение газа с трением по каналу постоянного сечения; кризис течения в выходном сечении канала. Особенности расчета течения при дозвуковой скорости течения на входе в канал: при заданном располагаемом перепаде давлений по входу и изменении длины канала, при заданной длине канала и изменении располагаемого перепада давлений. Об универсальности критериев, определяющих режим истечения газа из канала в среду с заданным противодавлением. Расходное и механическое воздействия. Некоторые методы контактных измерений параметров потоков жидкостей и газов при дозвуковых скоростях течения.</p>
7.	<p>Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии.</p> <p>Распространение слабых возмущений в движущемся газе: линии слабых воз-</p>

мущений, характеристики; свойства характеристик. Плоское потенциальное установившееся течение идеального газа: основное дифференциальное уравнение газовой динамики для плоского потенциального установившегося течения идеального газа (дифференциальное уравнение потенциала скорости) и его частные случаи. Понятие о методе характеристик для расчёта сверхзвуковых течений. Обтекание сверхзвуковым потоком внешнего тупого угла (течение Прандтля-Майера или сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости). Физическая картина течения. Пересечение и отражение слабых волн: взаимодействие волн разрежения и искривление характеристик; отражение слабых возмущений (линий разрежения и линий сжатия) от твёрдой стенки. Принцип профилирования сверхзвуковой части сопла Лавала. Отражение слабых возмущений от границы свободной струи. Сопло с косым срезом. Сопло с центральным телом. Характеристики уравнений установившегося течения идеального газа. Характеристики первого и второго семейств. Соотношения, выполняющиеся вдоль характеристик. Условия совместности. Метод характеристик. Решение типовых элементарных задач.

8. **Скачки уплотнения.**

Понятие о сильных разрывах: скачки уплотнения или ударные волны. Основные соотношения для прямого скачка уплотнения: постоянство полной энергии при переходе газа через прямой скачок уплотнения, уменьшение скорости на прямом скачке до дозвуковой; увеличение плотности, температуры и давления, падение полного давления и возрастание энтропии.

Невозможность образования адиабатных скачков разрежения. Ударная адиабата Гюгонио, отличие ударного сжатия от изоэнтропного. Динамическое соотношение на прямом скачке уплотнения. Скорость распространения ударной волны в неподвижном газе. Косые скачки уплотнения: образование плоского косого скачка уплотнения; треугольники скоростей на фронте скачка (неизменность тангенциальной составляющей и падение нормальной составляющей скорости потока за косым скачком уплотнения); неизменность температуры торможения на косом скачке уплотнения; температура частичного торможения и условная критическая скорость звука. Связь между уравнениями для расчёта параметров газового потока после прямых и косых скачков уплотнения. Некоторые формулы для расчёта косых скачков уплотнения. Отклонение потока в косом скачке: связь между углами, определяющими положение вектора скорости потока до и за скачком, диаграмма α - ω и её анализ. Сильные и слабые косые скачки уплотнения, отсоединённые криволинейные скачки уплотнения. Применение пневмометрического насадка (трубки Пито-Прандтля) в сверхзвуковом потоке. Формула Релея. Система скачков уплотнения: ступенчатое торможение сверхзвукового потока. Понятие о сверхзвуковом диффузоре-воздухозаборнике. Условие оптимальности системы из нескольких косых скачков уплотнения и замыкающего прямого скачка. Взаимодействие и отражение скачков уплотнения: пересечение скачков; взаимодействие скачка с волной разрежения; понятие о волновом сопротивлении; отражение скачка от твёрдой стенки (правильное и неправильное) и от оси сопла; отражение косого скачка от границы свободной струи. Работа идеального сопла Лавала на: расчетном режиме, режимах с недорасширением и с

	<p>перерасширением. Спектры потока за соплом. Особенности структуры осесимметричной сверхзвуковой недорасширенной струи идеального газа. Связь режима истечения из идеального сопла Лаваля с тягой реактивного двигателя для геометрически неизменного сопла. Сравнение тяг реактивного двигателя с нерасчетным (с недорасширением или с перерасширением) и счетным соплом.</p>
9.	<p>Теория подобия и анализ размерностей. Понятие о подобии физических явлений и моделировании. Метод подобия: получение чисел подобия методом теории подобия на примере уравнения Навье-Стокса. Критерии (числа) гидрогазодинамического подобия Рейнольдса, Эйлера, Фруда, Струхала и их физический смысл. Критерий Эйлера для газа. Определяющие и определяемые критерии подобия. Полное и частичное (приближенное) подобия. Неопределяющие критерии. Автомодельность. Тепловое подобие. Критерии теплового подобия Прандтля и Нуссельта, критерий Пекле. Анализ размерностей. Получение чисел подобия методом анализа размерностей: π - теорема (без доказательства).</p>
10.	<p>Основы теории пограничного слоя. Реальные течения в соплах и дозвуковых диффузорах. Основные понятия пограничного слоя: толщина пограничного слоя, асимптотический характер толщины пограничного слоя, постоянство статического давления поперек пограничного слоя, динамический и тепловой (температурный) пограничные слои. Интегральные характеристики пограничного слоя. Принципы расчета пограничного слоя: дифференциальные уравнения Прандтля для ламинарного пограничного слоя; интегральное соотношение для пограничного слоя (уравнение Кармана); расчёт толщины пограничного слоя и сопротивления трения при внешнем продольном безградиентном обтекании плоской стенки ламинарным потоком несжимаемой жидкости. Сравнение характеристик ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Пограничный слой в сжимаемом газе на плоской стенке: определяющая температура; выражения для толщины пограничного слоя и интегральных коэффициентов сопротивления через определяющую температуру и число Маха потока около плоской адиабатной стенки. Отрыв пограничного слоя: необходимые условия отрыва; критерии отрыва ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Управление пограничным слоем. Взаимодействие пограничного слоя со скачками уплотнения: взаимодействие косого скачка уплотнения с ламинарным пограничным слоем, критическое отношение давлений и критерии отрыва ламинарного пограничного слоя. Особенности взаимодействия скачка уплотнения с турбулентным пограничным слоем. Критическое отношение давлений и критерии отрыва турбулентного пограничного слоя. Работа реального сопла Лаваля на режимах с перерасширением: отрыв пограничного слоя и его влияние на тягу, образование псевдоскачка на режиме с отрывом потока от стенок сопла Лаваля. Реальные течения в соплах в одномерной постановке. Понятие об идеальном, теоретическом и реальном одномерных соплах. Внутренний скоростной коэффициент, коэффициент полного давления сопла. Максимальная тяга для реального сопла. Особенности одномерного расчета потерь в дозвуковых диффузорах. Опытные данные по коэффициенту полного дав-</p>

	ления в диффузорах.
11.	<p>Общие сведения о свободных струях.</p> <p>Примеры струйных течений: спутные и встречные струи, затопленные струи, течение в следе. Свободная (струйная) турбулентность. Наличие тангенциального разрыва параметров на поверхности раздела двух сред в струйных течениях. Свойства и структура турбулентных струй: свободная затопленная изобарная струя, потенциальное ядро, струйный пограничный слой (слой смешения), внешняя граница пограничного слоя, начальный и переходный участки струи, основной участок. Универсальность профиля скорости, энтальпии и концентрации примеси на основном участке свободных турбулентных струй: профиль Шлихтинга.</p>
12.	<p>Взаимодействие профиля с плоским потенциальным потоком.</p> <p>Плоское установившееся потенциальное течение несжимаемой жидкости. Функция тока и уравнение линии тока. Уравнение Лапласа для функции тока. Связь между потенциалом скорости и функцией тока. Метод наложения или суперпозиции полей течений. Простейшие потенциальные потоки: плоскопараллельный поток, плоский точечный источник и сток, потенциальный вихрь (безвихревое циркуляционное движение). Синтезирование сложных течений из простейших: синтезирование диполя, поперечного обтекания идеальной жидкостью бесконечно длинного кругового цилиндра с циркуляцией. О применении численных методов для решения задач МЖГ. Решение уравнения Лапласа методом конечных разностей./Л.И. Турчак. Основы численных методов. М.: Наука, 1987, с.209, 238-240, 286-288./Теорема Н.Е.Жуковского о подъемной силе (1906 г.). Постулат Жуковского-Чаплыгина и его роль в определении циркуляции по профилю. Элементы теории решёток профилей. Теорема Н.Е.Жуковского для решётки профилей.</p>
	<p>Заключение.</p> <p>Место и значение гидрогазодинамики (механики жидкости и газа) в современной науке и технике. Роль российских учёных в развитии гидрогазодинамики. /Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970, с.17-44/. Краткая характеристика гидрогазодинамических задач, возникающих при расчёте газоздушного тракта ГТД с форсажной камерой, систем топливопитания, смазки и регулирования. Вычислительная гидрогазодинамика как важный фактор удешевления гидрогазодинамических исследований.</p>

Подробное содержание дисциплины, структура учебных занятий, трудоемкость изучения дисциплины, входные и исходящие компетенции, уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенций, учебно-методическое, информационное, материально-техническое обеспечение учебного процесса изложены в рабочей программе дисциплины.